

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/011135

International filing date: 17 June 2005 (17.06.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-292377
Filing date: 05 October 2004 (05.10.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 29 July 2005 (29.07.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 4 年 1 0 月 5 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 4 - 2 9 2 3 7 7

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号
J P 2 0 0 4 - 2 9 2 3 7 7
The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

出 願 人
Applicant(s): 日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司

2 0 0 5 年 7 月 1 3 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH165880
【提出日】 平成16年10月 5日
【あて先】 特許庁長官 小川 洋 殿
【国際特許分類】 H04B 10/16
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【フリガナ】 マスダ ヒロジ
 【氏名】 増田 浩次
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【フリガナ】 サトウ ケンジ
 【氏名】 佐藤 憲史
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
 【フリガナ】 ミヤモト ユタカ
 【氏名】 宮本 裕
【特許出願人】
 【識別番号】 000004226
 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
 【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100078237
 【住所又は居所】 東京都練馬区関町北二丁目26番18号
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 井 出 直 孝
 【電話番号】 03-3928-5673
【選任した代理人】
 【識別番号】 100083518
 【住所又は居所】 東京都練馬区関町北二丁目26番18号
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 下 平 俊 直
 【電話番号】 03-3928-5673
 【連絡先】 担当
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2004-184601
 【出願日】 平成16年 6月23日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 014421
 【納付金額】 16,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9701394

【書類名】 特許請求の範囲

【請求項 1】

信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、
前記信号光と同位置方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、
前記シリカファイバと前記励起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器と
を有する線形中継器であって、
前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、
前記励起光源は、前記信号光の波長より 13.7 THz 以上短波長側にある励起光を出射する手段を備えた
ことを特徴とする線形中継器。

【請求項 2】

前記シリカファイバは、分散シフトファイバであり、前記信号光は L 帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が 1470 nm 以下である請求項 1 記載の線形中継器。

【請求項 3】

前記シリカファイバは、ノンゼロ分散シフトファイバであり、前記信号光は C 帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が 1430 nm 以下である請求項 1 記載の線形中継器。

【請求項 4】

前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起ダブルパス型 EDF モジュールが設けられ、
前記励起光は、その波長が 1430 nm 以上であり 1470 nm 以下である
請求項 2 記載の線形中継器。

【請求項 5】

前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起シングルパス型 EDF モジュールが設けられ、
前記励起光は、その波長が 1440 nm 以上であり 1470 nm 以下である
請求項 2 記載の線形中継器。

【請求項 6】

前記励起光源は、ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型もしくはファイバレーザ型である請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の線形中継器。

【請求項 7】

信号光波長の最小値を λ_s 、シリカファイバのゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、励起光波長の最大値を λ_p としたとき、
$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15$$

が成り立つように信号光波長、ゼロ分散波長、および励起光波長を設定した
請求項 2 記載の線形中継器。

【請求項 8】

前記励起光源は、ファブリーペローレーザダイオード型である請求項 7 記載の線形中継器。

【請求項 9】

前記励起光源は、複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型である請求項 7 記載の線形中継器。

【請求項 10】

前記複数波長の幅が 10 nm 以下である請求項 9 記載の線形中継器。

【請求項 11】

前記励起光源は、偏波多重するファブリーペローレーザダイオードの各々の出力側に、

各ファブリーペローレーザーダイオードからの励起光出力を調整する可変減衰器を備えた請求項 8 記載の線形中継器。

【請求項 1 2】

請求項 1 ないし 1 1 のいずれかに記載の線形中継器を備えたことを特徴とする光ファイバ通信システム。

【請求項 1 3】

請求項 1 ないし 1 1 のいずれかに記載の線形中継器が有する前記シリカファイバが市中に敷設された請求項 1 2 記載の光ファイバ通信システム。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 線形中継器および光ファイバ通信システム

【技術分野】

【0001】

本発明は、光信号を、伝送路であるところの市中に敷設した光ファイバ中で光増幅する分布ラマン増幅システム、および、線型中継器または端局装置から離れて設置した無給電の遠隔励起モジュールで光増幅する光ファイバ通信システムに関する。

【背景技術】

【0002】

波長多重の光ファイバ通信システムで用いられる、従来技術の分布ラマン増幅システム(DRAシステム)の構成例を図14および図15に示す(例えば、非特許文献1または2参照)。図14が後方励起DRAの場合であり、図15が双方向励起DRAの場合である。本DRAシステムでは、伝送路として分散シフトファイバ(DSF)を用いており、DSFのゼロ分散波長(λ_0)の典型値は1540nm~1560nm(規定値はこれより若干広い波長範囲を有する)である。

【0003】

波長多重(WDM)信号光の波長として、図14の後方励起DRAの場合には、いわゆるL帯1575~1605nm(典型値)、後方向励起の励起光波長として1470nmおよび1500nmを用いている。また、図15の双方向励起DRAの場合には、信号光波長として、いわゆるC帯1530~1560nm(典型値)、前方向および後方向励起の励起光波長として1420nmおよび1450nmを用いている。

【0004】

励起光は、線形中継器1-3、2-3、1-4、2-4から、信号光と反対方向に、合波器14、24を用いて伝送路中に導入されている。励起光源は、最もよく用いられている、ファイバブラッググレーティング(FBG)を外部鏡として有するレーザダイオード光源(ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、FBG励起光源)である。

【0005】

また、各線形中継器1-3、2-3、1-4、2-4はエルビウム添加ファイバ増幅器(EDFA)16、26を有する。DSFの上流側の線形中継器1-3、1-4を出て、DSFを伝播する信号光は、DSFの下流側の線形中継器2-3、2-4近くで分布ラマン増幅を受けて、伝送路中で分布的に増幅された後、EDFA16、26で集中定数的に増幅される。

【0006】

図14の場合には、後方励起DRAを用いてSNRの向上を図っている。一方、図15の場合には、さらなるSNRの向上を狙って、前方励起DRAとしてFBG励起光源13-3、23-3、合波器15、25を追加した双方向励起DRAを用いている。ただし、従来技術において、前方励起DRAを適用する場合には、信号光波長帯は、C帯1530~1560nmに限られていた(本発明では、以下に示すように、L帯1575~1605nmにおいて、前方励起DRAによる信号光増幅を可能とする)。

【0007】

図14の構成に、更なるSNR向上を狙い、前方分布ラマン増幅を行う場合には、後方分布ラマン増幅の場合と同じく、信号光波長の約100nm短波長側の励起光を用いて増幅を行う。その励起光波長は、例えば1470nmおよび1500nm(図14の後方分布ラマン増幅の場合と同じ)である。このときのラマン利得スペクトルを図16に示す。図16は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。図16によれば、L帯1575~1605nmにおいて、平坦な利得スペクトルが得られている。

【0008】

【非特許文献1】 H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 35, pp. 411-412, 1999

【非特許文献2】 N. Takachio et al., OFC, PD9, 2000

【非特許文献3】 M. D. Mermelstein et al., Electron. Lett., Vol. 38, pp. 403-405, 2002

【非特許文献4】 K. Inoue, JLT, Vol. 10, pp. 1553-1561, 1992

【非特許文献5】 R. P. Espindola et al., Electron. Lett., Vol. 38, pp. 113-115, 2002

【非特許文献6】 Y. Ohki et al., OAA, PD7, 2002

【非特許文献7】 H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 33, No. 12, pp. 1070-1072, 1997

7

【非特許文献8】 H. Masuda et al., Electron. Lett., Vol. 39, No. 23, 2003

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

図14の従来技術のDRAシステムに、図15のように、前方励起DRAを追加して用いた場合の信号光のSNRスペクトルを図17に示す。図17は横軸に波長(nm)をとり、縦軸にSNR(dB)をとる。ただし、上記のように、信号光波長はL帯1575～1605nm、励起光波長は1470nmおよび1500nmである。

【0010】

図17より、信号光波長1589nm近傍において、顕著なSNR劣化が生じていることがわかる。また、伝送特性評価としてビット誤り率(BER)測定を行ったが、SNRが約25dB以下の波長域において、BER劣化が生じていることがわかった。これは、この波長域の信号光波長(～1589nm)と、励起光波長(1500nm)が、ゼロ分散波長(1545nmであった)に対し、対称的な位置にあり、励起光の相対強度雑音(RIN)が、信号光に誘導ラマン散乱を介して乗り移ること(RIN移行)、および、広い発振スペクトルを有する励起光と、信号光との間で、非縮退4光波混合(ND-FWM)が生じるため(非特許文献3または4参照)である。

【0011】

上記波長配置では、信号光と励起光の群速度がほぼ同じになり、上記2つの現象(RIN移行およびND-FWM)による信号光品質劣化が顕著になる。ただし、FBG励起光源、ファイバレーザなどのRINが大きい励起光源に関してRIN移行が顕著になる。

【0012】

そこで、励起光源に工夫を加えた、特殊な低いRINの励起光源(多モードDFB-LDおよびiGM-LD)を作製し、図15のDRAシステム(ただし、前方励起DRAを用いた場合)に用いて、RIN移行を抑圧することが報告されている(非特許文献5または6参照)。しかしながら、それら特殊な励起光源は、高価であり、また、SBS閾値が低いという難点がある。さらに、ND-FWMが抑圧できないという欠点があった。一方、FBG励起光源およびファイバレーザは、SBS閾値が高い。

【0013】

本発明は、このような背景に行われたものであって、最もよく用いられる、FBG励起光源およびファイバレーザなどの励起光源を用いることのできる前方励起DRAを用いた線形中継器および光ファイバ通信システムを実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第一の観点は、信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、前記信号光と同位置方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、前記シリカファイバと前記励起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器とを有する線形中継器である。

【0015】

ここで、本発明の特徴とするところは、前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、前記励起光源は、前記信号光の波長より13.7THz以上短波長側にある励起光を出射する手段を備えたところにある(請求項1)。

【0016】

また、前記シリカファイバは、分散シフトファイバであり、前記信号光はL帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が1470nm以下であることができる（請求項2）。

【0017】

これによれば、伝送路がDSFの場合に、単一の励起光波長を概略1470nm以下に設定することにより、従来技術で問題であったSNR劣化を抑圧できる。

【0018】

あるいは、前記シリカファイバは、ノンゼロ分散シフトファイバであり、前記信号光はC帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が1430nm以下であることができる（請求項3）。

【0019】

これによれば、従来技術で問題であった、RIN移行およびND-FWMによるSNR劣化を抑圧できる。

【0020】

あるいは、前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起ダブルパス型EDFモジュールが設けられ、前記励起光は、その波長が1430nm以上であり1470nm以下であることができる（請求項4）。

【0021】

これによれば、励起光波長依存性は小さく、実質的に1430nmの励起光波長でも、遠隔励起ダブルパス型EDFモジュールを動作させることができる。

【0022】

あるいは、前記シリカファイバの信号光出力段に、遠隔励起シングルパス型EDFモジュールが設けられ、前記励起光は、その波長が1440nm以上であり1470nm以下であることができる（請求項5）。

【0023】

このように、遠隔励起シングルパス型EDFモジュールでは、励起効率がダブルパス型EDFモジュールより劣るため、使用可能な励起光波長は、ダブルパス型EDFモジュールより長波長（1440nm以上など）となる。

【0024】

また、前記励起光源は、ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型もしくはファイバレーザ型であることができる（請求項6）。

【0025】

また、信号光波長の最小値を λ_s 、シリカファイバのゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、励起光波長の最大値を λ_p としたとき、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15$$

が成り立つように信号光波長、ゼロ分散波長、および励起光波長を設定することができる（請求項7）。

【0026】

これにより、雑音が最大となる最悪条件が $2\lambda_0 - \lambda_s = \lambda_p$ である場合に、これを回避することができる。

【0027】

また、前記励起光源は、ファブリーペローレーザダイオード型であることができる（請求項8）。

【0028】

あるいは、前記励起光源は、複数波長のファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型であることができる（請求項9）。このときに、前記複数波長の幅が10nm以下であることが望ましい（請求項10）。

【0029】

さらに、前記励起光源は、偏波多重するファブリーペローレーザダイオードの各々の出力側に、各ファブリーペローレーザダイオードからの励起光出力を調整する可変減衰器を

備えることができる（請求項１１）。

【００３０】

これにより、温度変化あるいは製造バラツキによる各レーザダイオードの励起光波長（平均波長）の差異を補償することができる。

【００３１】

本発明の第二の観点は、本発明の線形中継器を備えたことを特徴とする光ファイバ通信システムである（請求項１２）。本発明の光ファイバ通信システムは、本発明の線形中継器が有する前記シリカファイバを市中に敷設することにより実現することができる（請求項１３）。

【００３２】

なお、本発明の線形中継器を受信端局装置に置き替えても同様に説明することができる。

【発明の効果】

【００３３】

本発明によれば、従来技術で問題であったＲＩＮ移行およびＮＤ－ＦＷＭによる信号光品質劣化が生じるという欠点を解決できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００３４】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【００３５】

（第一実施例）

図１は第一実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図である。

【００３６】

本実施例は、図１に示すように、信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバ１０、１１、２０、２１と、前記信号光と同位置方向にシリカファイバ１０、１１、２０、２１中を共伝播する励起光を送出するＦＧＢ励起光源１２－１、１３－１、２２－１、２３－１と、シリカファイバ１０、１１、２０、２１とＦＧＢ励起光源１２－１、１３－１、２２－１、２３－１との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器１４、１５、２４、２５とを有する線形中継器１－１、２－１である。

【００３７】

ここで、本実施例の特徴とするところは、合波器１４、１５、２４、２５には、シリカファイバ１０、１１、２０、２１のゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光とＦＧＢ励起光源１２－１、１３－１、２２－１、２３－１から出射された励起光とを合波する手段を備え、ＦＧＢ励起光源１２－１、１３－１、２２－１、２３－１は、前記信号光の波長より１３．７ＴＨｚ以上短波長側にある励起光を出射する手段を備えたところにある（請求項１）。

【００３８】

シリカファイバ１０、１１、２０、２１は、分散シフトファイバであり、前記信号光はＬ帯に複数波長を有し、前記励起光は、その波長が１４７０ｎｍ以下である（請求項２）。

【００３９】

以下では、第一実施例をさらに詳細に説明する。

【００４０】

図１は、第一実施例の光ファイバ通信システムを示している。図１１の従来技術の構成とは、以下の点が主に異なる。すなわち、本実施例では、前方分布ラマン増幅（前方ＤＲＡ）を、１４４０ｎｍの励起光を用いて行っている。その励起光用の励起光源１３－１は上流の線形中継器１－１中に設置している。

【００４１】

本実施例に関するラマン利得スペクトルを図２に示す。図２は横軸に波長（ｎｍ）をとり、縦軸に利得（ｄＢ）をとる。これは、図１の光通信システムにおいて、前方ＤＲＡの

単一の励起光波長を1500 nmから1440 nmまで、短波長側に向けて変化させた場合のスペクトルである。また、それら励起波長に対するSNRスペクトルを図3に示す。図3は横軸に波長(nm)をとり、縦軸に利得(dB)をとる。ただし、この単一の励起光波長の場合における励起光パワーは、従来技術における2波長(1470 nmおよび1500 nm)励起の場合のトータルパワー(300 mW)と同じにした。

【0042】

図2より、信号光波長域内に利得スペクトルのピークが生じるのは、単一の励起光波長がおおよそ1470 nm~1500 nmにある場合である。そこで、従来技術では、信号光波長域内で高利得を得るため、概略1470 nm以上の励起光と、概略1500 nm以下の励起光の少なくとも2波長以上の励起光で前方DRAを行っていた。一方、本実施例では、以下の単一の励起波長を用いる。

【0043】

したがって、従来技術では、最短の信号光波長(上記例では1575 nm)と、最長の励起光波長(上記例では1500 nm)は、一般に、約100 nm(周波数差にして約13 THz)しか離れていない。信号光波長が1波長の場合には、例えば、信号光波長が1580 nmであれば、励起光波長は、1波長で十分であるが、1480 nmとされている。これは、波長差100 nm、周波数差にして12.8 THzである。

【0044】

図3のSNRスペクトルによると、励起光波長が1500 nm、1490 nm、1480 nmの場合に、信号光波長域内でSNRが低くなっている(概略25 dB以下)。一方、励起光波長が1470 nm、1460 nm、1440 nmの場合には、信号光波長域内におけるSNR劣化は小さく、約30 dB以上の高いSNRが得られている。また、この場合(励起光波長が1470 nm、1460 nm、1440 nmの場合)に、BER特性も良好であった。さらに、この場合に、図2より、信号光波長域内におけるラマン利得は、励起光波長が1470 nmの場合に約6 dB以上、励起光波長が1440 nmの場合に約4 dB以上などである。

【0045】

すなわち、図16の利得(約8 dB)に比べれば小さいが、DRAによるSNR改善を確保するには十分な大きさの利得が得られることがわかった。また、従来技術に比べ、大きな、信号光波長域内における利得偏差が生じているが、これは、信号光レベルの波長に応じた設定を後述のごとく行うことによって問題にならない。

【0046】

上記のように、本実施例では、最短の信号光波長(1575 nm)に対し、最長の励起光波長(本実施例では1470 nm)は、100 nmより大きな値(105 nm)(周波数差にして約13.7 THz)をもって、短波長側に設定されている。信号光波長が1波長の場合には、例えば、信号光波長が1580 nmであれば、励起光波長は、1波長で十分であるが、1460 nmとしてよい。これは、波長差120 nm、周波数差にして15.6 THzである。

【0047】

図4は、本実施例(伝送路がDSFの場合)に関する波長関係を示している。ゼロ分散波長は1550 nm近傍にあり、信号光波長域はL帯1575~1605 nmである。また、励起光波長は、従来技術では、1470 nmおよび1500 nmであり、本実施例では、例えば1440 nm(1460 nm、1470 nmでもよい)である。

【0048】

また、図3は、ゼロ分散波長が1545 nmの場合であるが、例えば、ゼロ分散波長が1535 nmの場合には、1500 nm、1490 nm、1480 nmに加え、1470 nmの場合に、信号光波長域内でSNRが低くなる(概略25 dB以下)。

【0049】

本実施例では、図16と図2との比較からわかるように、ラマン利得スペクトルが一般に、信号光波長域内で非平坦になっている。特に、励起光波長が、1440 nm、146

0 nm、1 4 7 0 nmと長波長になるにしたがって、非平坦性が増加する。信号光パワーと波長との関係を図5に示す。図5は横軸に波長（nm）をとり、縦軸に信号光パワー（dBm）をとる。そこで、伝送路DSFに入力する信号光パワーのスペクトルを図5に示すように、上記励起光波長に応じて非平坦にする。

【0050】

伝送路DSF中での非線形効果を考慮して、ラマン利得が大きい波長ほど、信号光パワーを低くする。EDFAの利得と波長との関係を図6に示す。図6は横軸に波長（nm）をとり、縦軸に利得（dB）をとる。さらに、単位線形中継区間でのネット利得スペクトルを平坦にするため、図6に示すように、EDFAの利得スペクトルを非平坦とする。これは、利得等化フィルタを用いることなく、EDFAの励起レベルを低減し、平均反転分布レベル（非特許文献7参照）を低減することにより、実現できることがわかった。

【0051】

すなわち、図6において、励起光波長が1 4 4 0 nmの場合の平均反転分布レベル（レベルー1）は、従来技術の場合のEDFA利得スペクトルが平坦な場合の平均反転分布レベルより低く、励起光波長が1 4 6 0 nmの場合の平均反転分布レベル（レベルー2）はレベルー1より低くすればよい。

【0052】

上記実施例は、市中（陸上または海底）に敷設した伝送路ファイバ中で、信号光を分布的に増幅するDRAシステムに関するものであるが、伝送路ファイバの長さは、40 kmおよび80 kmなどである。

【0053】

しかしながら、本実施例における信号光の光増幅動作を考慮すると、信号光を線形中継器内でEDFAなどのように集中的に増幅する場合にも適用でき、利得媒質は、一般にDRAの場合より若干短め（10 kmおよび20 kmなど）のシリカファイバ（DSFなど）である。このことは、後述の第二および第三実施例に関しても同じである。

【0054】

また、励起光源は、ファイバブラッググレーティング（FBG）もしくはファイバレーザを外部鏡として有するレーザダイオード光源（ファイバブラッググレーティング付きレーザダイオード型、FBG励起光源もしくはファイバレーザ型、ファイバレーザ励起光源）である（請求項6）。

【0055】

以上述べたように、本実施例によれば、伝送路がDSFの場合に、単一の励起光波長を概略1 4 7 0 nm以下に設定することにより、従来技術で問題であったSNR劣化を抑圧できるという効果がある（請求項1、2）。

【0056】

（第二実施例）

図7は、第二実施例の光ファイバ通信システムを示している。図1の第一実施例の線形中継器1-1、2-1の構成と第二実施例の線形中継器1-2、2-2の構成とは、以下の点が主に異なる。すなわち、本実施例では伝送路としてノンゼロ分散シフトファイバ（NZ-DSF、LEAFなど）を用いており、ゼロ分散の典型値は約1 5 0 0 nmである。信号光波長はC帯1 5 3 0～1 5 6 0 nmである。

【0057】

励起光波長は、後方向励起のFBG励起光源1 2-2、2 2-2では、従来技術の図1 5と同じ1 4 2 0 nmおよび1 4 5 0 nmであり、また、前方向励起のFBG励起光源1 3-2、2 3-2では1 3 9 0 nmである。

【0058】

本実施例における波長関係を図8に示す。従来技術では、図1 5に示したように、前方向DRAの励起光波長は、後方向DRAの励起光波長と同じ、1 4 2 0 nmおよび1 4 5 0 nmであるが、本実施例では、上記のように、1 3 9 0 nmである。

【0059】

一般的には、第一実施例の場合と同様に、励起光波長は、最短信号光波長（1530 nm）に対して、周波数差にして約13.7 THz短波長側に設定される。すなわち、励起光波長は1430 nm以下にすればよい（請求項1、3）。

【0060】

したがって、図4の場合と同じように、本実施例によれば、従来技術で問題であった、RIN移行およびND-FWMによるSNR劣化を抑圧できるという効果がある。

【0061】

（第三実施例）

図9は、第三実施例の光ファイバ通信システムを示している。図1の第一実施例の構成とは、以下の点が主に異なる。ただし、図9では簡単のため、図1と異なる点のみを示している。本実施例では、前方励起DRAの伝送路DSF（DSF-1）の後段に遠隔励起EDFモジュール30を設置して、遠隔励起増幅を行っている。その遠隔励起EDFモジュール30としては、励起効率の高いダブルパス型を用いている（非特許文献8参照）。

【0062】

図10は、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30の励起特性を示している。図10は横軸に入力励起光パワー（mW）をとり、縦軸に出力信号光パワー（dBm）をとる。信号光のトータル出力パワーについて、入力励起光パワー依存性を、励起光波長を変えて（1440、1460、1470、1490 nm）測定した。図10および他の検討結果より、励起光波長依存性は小さく、実質的に1430 nmの励起光波長でも、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30が動作することがわかった（請求項1、4）。

【0063】

また、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30に替えてシングルパス型の遠隔励起EDFモジュールを設置することもできる（請求項1、5）。この場合には、シングルパス型の遠隔励起EDFモジュールでは、励起効率がダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30より劣るため、使用可能な励起光波長は、ダブルパス型の遠隔励起EDFモジュール30より長波長（1440 nm以上など）となる。

【0064】

（第四実施例）

第一および第二実施例によれば、従来技術で問題であったND-FWMおよびRIN移行に起因する雑音の大きなFBG励起光源またはファイバレーザ励起光源を用いたシステムにおいて、その雑音を回避できる。ただし、前記ファイバレーザ励起光源の典型例はファイバラマンレーザである。

【0065】

ここで、信号光波長の最小値を λ_s 、ゼロ分散波長の最小値を λ_0 、また、励起光波長の最大値を λ_p としたとき、

$$2\lambda_0 - \lambda_s = \lambda_p \quad \dots (1)$$

が上記雑音が最大となる最悪条件である。そこで、本発明では、上記条件が回避されるように、 $\lambda_0 = 1545 \text{ nm}$ 、 $\lambda_s = 1605 \text{ nm}$ のとき、 $\lambda_p \leq 1470 \text{ nm}$ としている。すなわち、波長の単位をnmとして、

$$2\lambda_0 - \lambda_s > \lambda_p + 15 \quad \dots (2)$$

としている（請求項7）。ただし、上記値は励起光源が単一波長のFBG励起光源である場合の概略値である。

【0066】

励起光源が単一波長のFBG励起光源以外の場合を調べると以下のことがわかった。図11は第四実施例のSNRスペクトルを示す図であり、横軸に波長（nm）をとり縦軸にSNR（dB）をとる。また、図11は各種励起光源に対する同じラマン利得におけるSNRスペクトルを示している。

【0067】

励起光源の種類は、ファイバラマンレーザ、単一波長FBG、2波長FBG、およびF-P-LD（ファブリーペローLD）である。ゼロ分散波長の最小値 λ_0 は1530 nmで

ある。ファイバラマンレーザ、単一波長F B G、2波長F B G、F P－L Dの順でS N Rが低いことがわかる。

【0068】

このとき、各種励起光源の10 dB強度低下における発振波長幅 $\Delta\lambda$ は、ファイバラマンレーザで約0.5 nm、単一波長F B Gで約2 nm、F P－L Dで約10 nmであった。すなわち、 $\Delta\lambda$ が大きいほどS N Rが高い。また、2波長F B Gでは、波長数が単一波長F B Gの2倍であるから、実効的な $\Delta\lambda$ は2倍である。

【0069】

以上のことから、F P－L D励起光源、多波長のF B G励起光源を用いることにより、前記雑音が抑圧された高S N Rが得られることがわかった（請求項8、9）。ただし、多波長のF B G励起光源を作製するとき、波長間隔を狭くして、励起光波長の平均波長と最大値 λ_p を顕著に上昇させないようにすることが肝要である。ただし、前記平均波長は励起光波長の実効値であり、最大値 λ_p は、（1）式の最悪条件を決める値である。前記波長間隔は、単一波長F B Gの $\Delta\lambda$ が約2 nmであることから、約10 nm以下であることが望ましい（請求項10）。

【0070】

図12は、F P－L D励起光源を用いた場合におけるL D駆動電流と励起光S N Rおよび信号光S N Rとの関係を示している。図12は横軸に駆動電流（mA）をとり、縦軸にS N R（dB）をとる。図12に示すように、駆動電流とともに励起光S N Rおよび信号光S N Rが向上することが初めてわかった。したがって、駆動電流を高い値に保つことに利点がある。

【0071】

図13は、第四実施例におけるF P－L D励起光源の構成を示している（請求項11）。本励起光源では、高S N Rを得るため、以下の工夫をしている。偏波多重する各L Dに可変アッテネータ40を設置して出力パワーを調整している。

【0072】

各可変アッテネータ40からの励起光は偏波合波器（以下ではP B Cという）で合波された後に出力される。各L Dの励起光波長（平均波長）は、駆動電流および温度とともに上昇し、駆動電流100 mAあたりで約3 nm、温度10度あたりで約4 nm上昇することがわかった。

【0073】

また、L Dの製造バラツキがあり、それは概略±5 nmである。したがって、図13の励起光源によれば、駆動電流および温度の調整により、各L Dの励起光波長を調整でき、かつ各L DからP B Cに入力する励起光パワーを可変アッテネータ40で同じ値に設定できる。ちなみに、通常のF P－L D励起光源の構成は、図13の構成から前記可変アッテネータ40を取り除いた構成である。

【0074】

例えば、偏波合成する2つのL D（L D 1およびL D 2）の励起光波長の所望の波長が1440 nmのとき、製造バラツキによって、L D温度25℃で、L D 1の波長が1444 nm、L D 2の波長が1436 nmになっていたとする。このとき、L D 1の温度を15℃、L D 2の温度を35℃とすることにより、L D 1およびL D 2の励起光波長をともに、1440 nm（所望値）にすることができる。このとき、一般にL D 1およびL D 2からの出力が変化するが、前記個別の可変アッテネータ40により、P B Cに入力する励起光パワーを可変アッテネータ40で所望の値に設定できる。

【0075】

（実施例まとめ）

本実施例の光ファイバ通信システムは、第一～第四実施例で説明した線形中継器を備え、シリカファイバ10、11、20、21が伝送路D S Fとして市中に敷設されることによって実現される（請求項12、13）。

【産業上の利用可能性】

【0076】

本発明によれば、従来技術で問題であったR I N移行およびN D－F W Mによる信号光品質劣化が生じるという欠点が解決できるため、高い通信信号品質を低コストで実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】 第一実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図。

【図2】 第一実施例の光ファイバ通信システムにおける利得と波長との関係を示す図。

【図3】 第一実施例の光ファイバ通信システムにおけるS N Rと波長との関係を示す図。

【図4】 第一実施例における波長関係（D S Fの場合）を示す図。

【図5】 第一実施例の信号光パワーと波長との関係を示す図。

【図6】 第一実施例のE D F Aの利得と波長との関係を示す図。

【図7】 第二実施例の光ファイバ通信システムの全体構成図。

【図8】 第二実施例の波長関係（N Z－D S Fの場合）を示す図。

【図9】 第三実施例の光ファイバ通信システムの要部構成図。

【図10】 第三実施例の出力信号光パワーと入力励起光パワーとの関係を示す図。

【図11】 第四実施例のS N Rスペクトルを示す図。

【図12】 F P－L D励起光源を用いた場合におけるL D駆動電流と励起光S N Rおよび信号光S N Rとの関係を示す図。

【図13】 第四実施例におけるF P－L D励起光源の構成を示す図。

【図14】 従来の後方励起D R A構成を示す図。

【図15】 従来の双方向励起D R A構成を示す図。

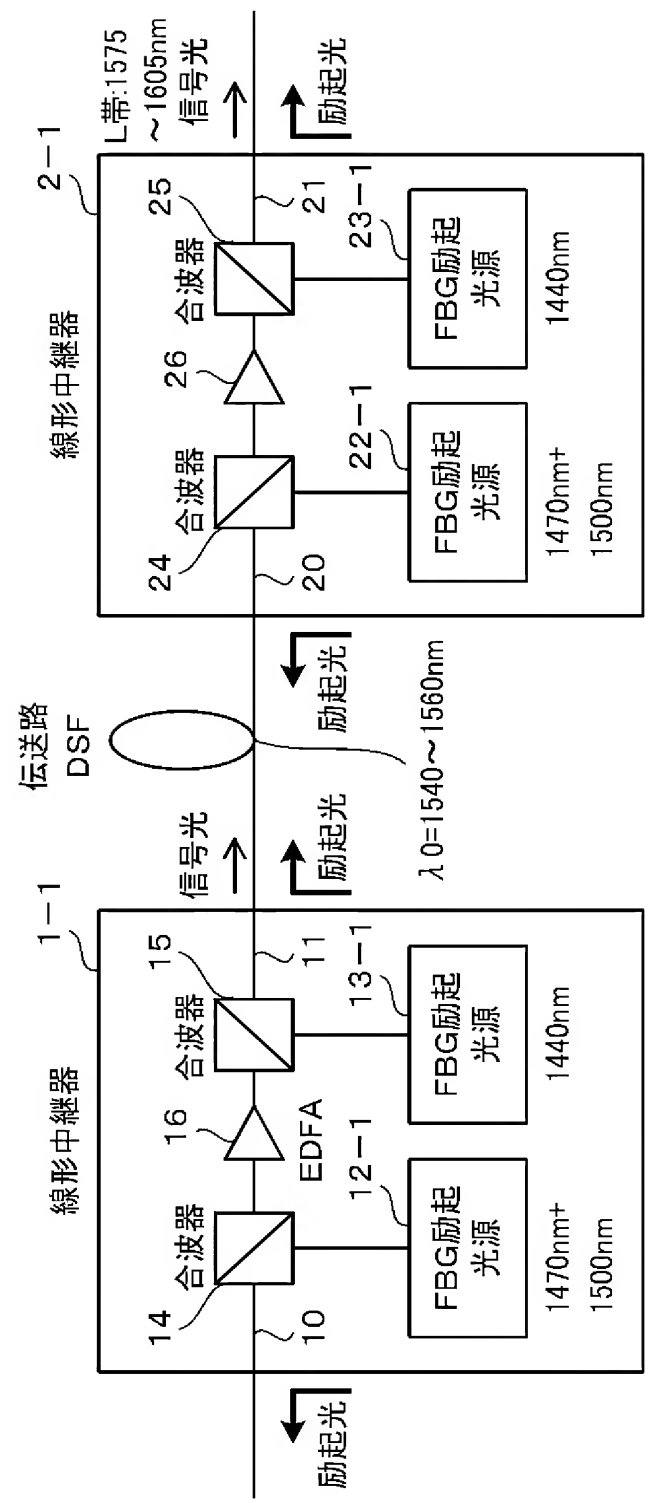
【図16】 従来技術のラマン利得スペクトル

【図17】 従来技術のS N Rスペクトル

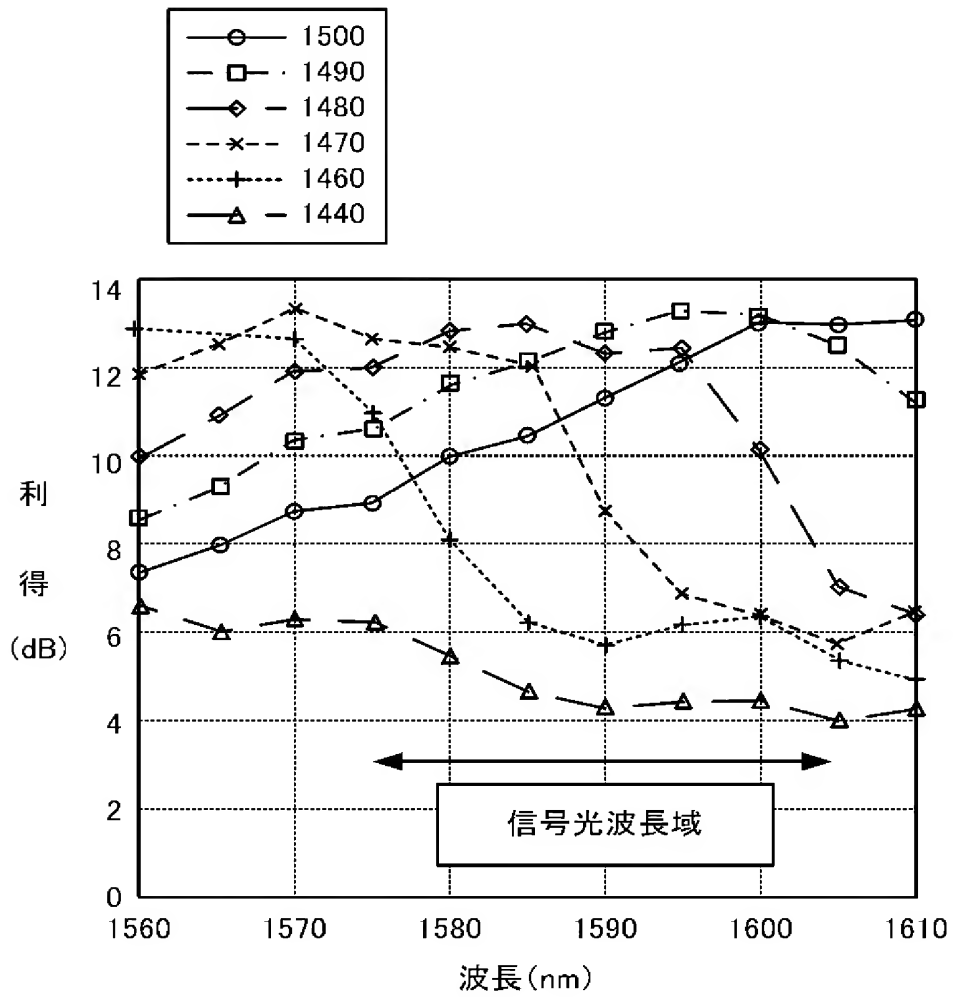
【符号の説明】

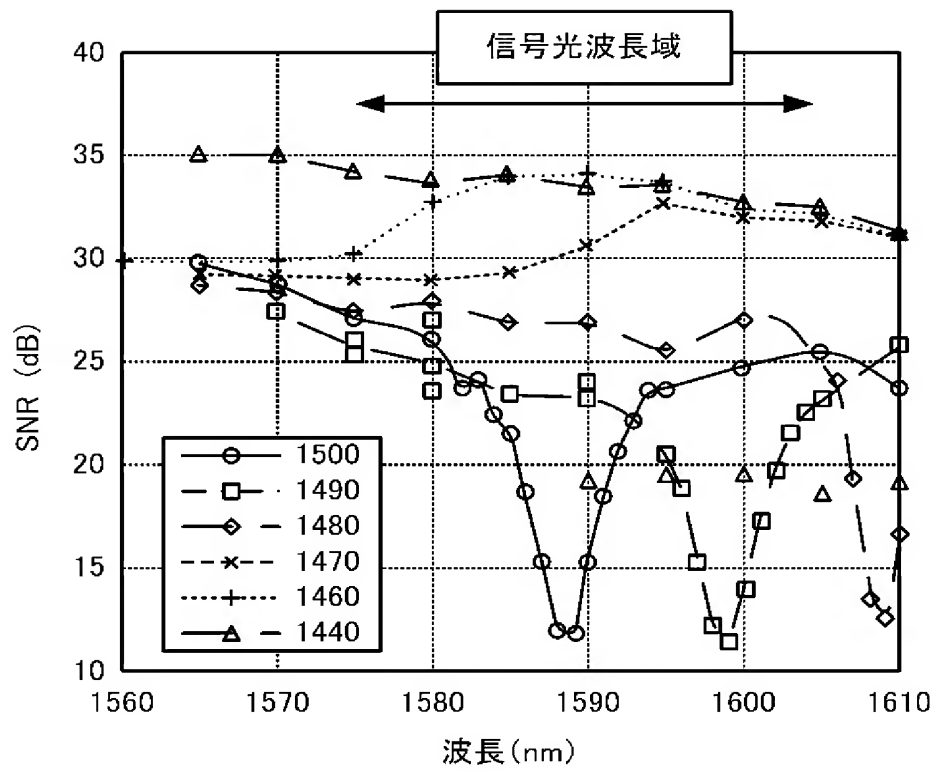
【0078】

- 1－1、1－2、1－3、1－4、2－1、2－2、2－3、2－4 線形中継器
- 10、11、20、21 シリカファイバ
- 12－1、12－2、12－3、13－1、13－2、13－3、22－1、22－2、22－3、23－1、23－2、23－3 F B G励起光源
- 14、15、24、25 合波器
- 16、26 E D F A
- 30 遠隔励起E D F モジュール
- 40 可変アッテネータ

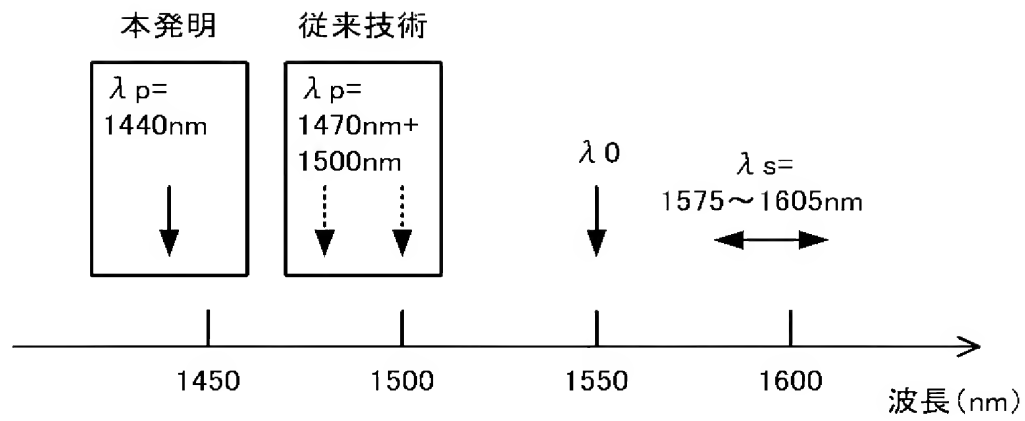


【図 2】

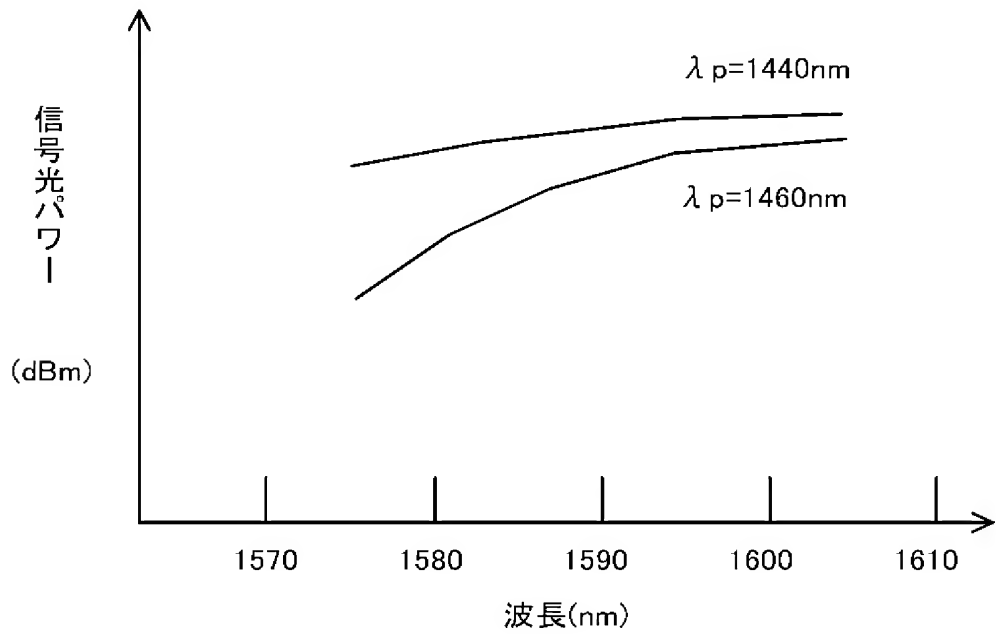




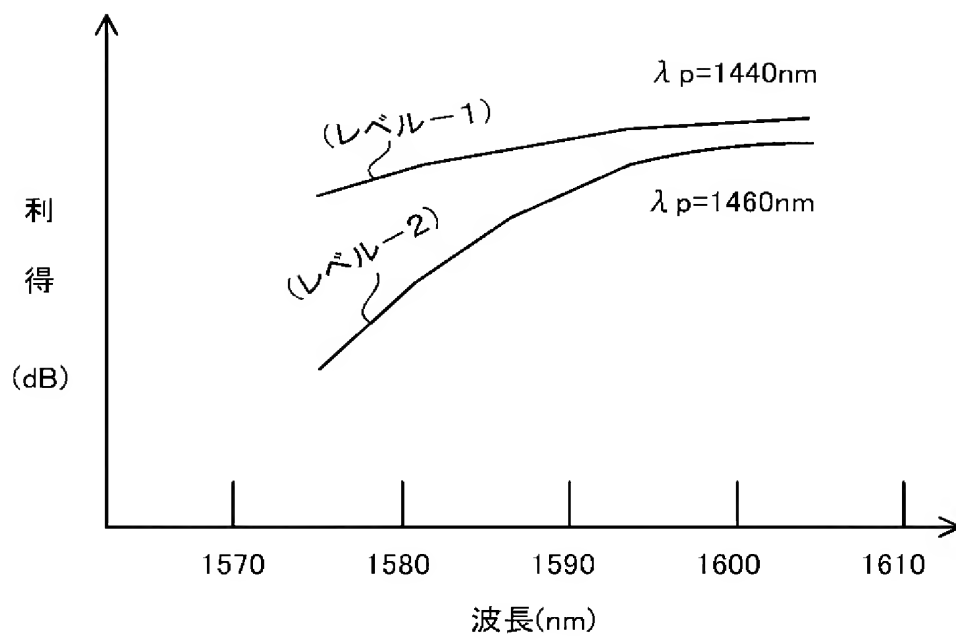
【図 4】

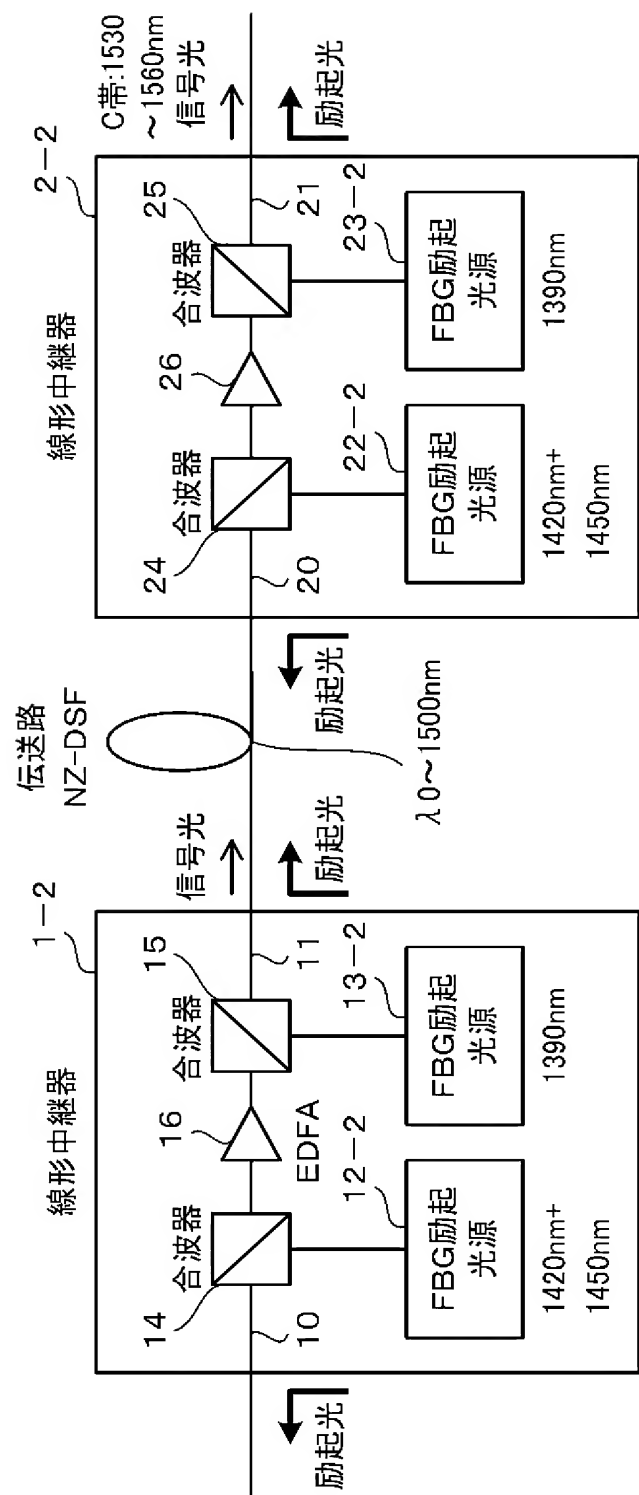


【図 5】

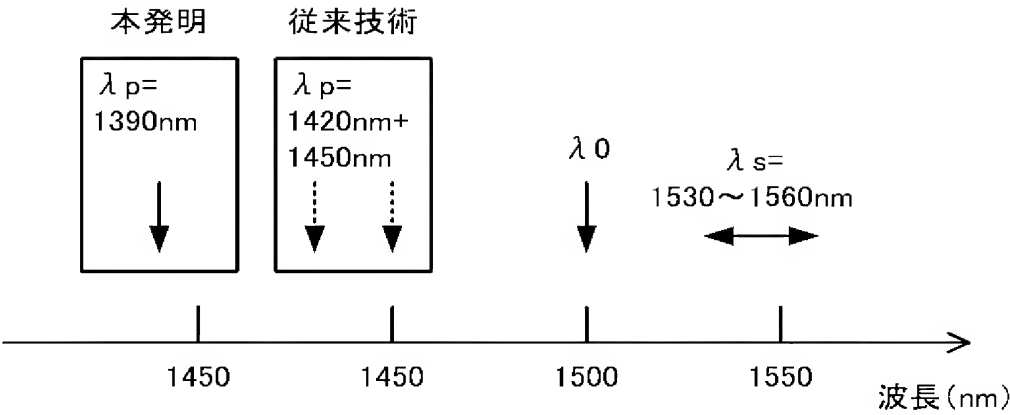


【図 6】

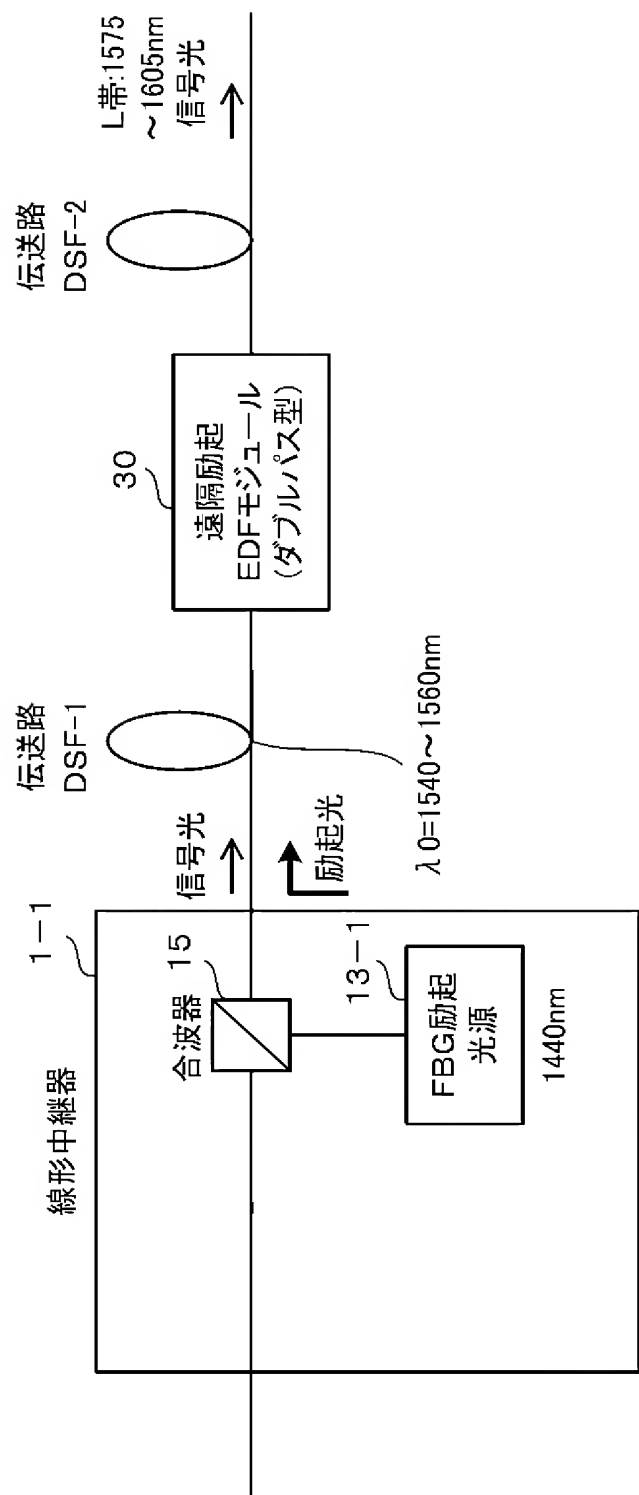


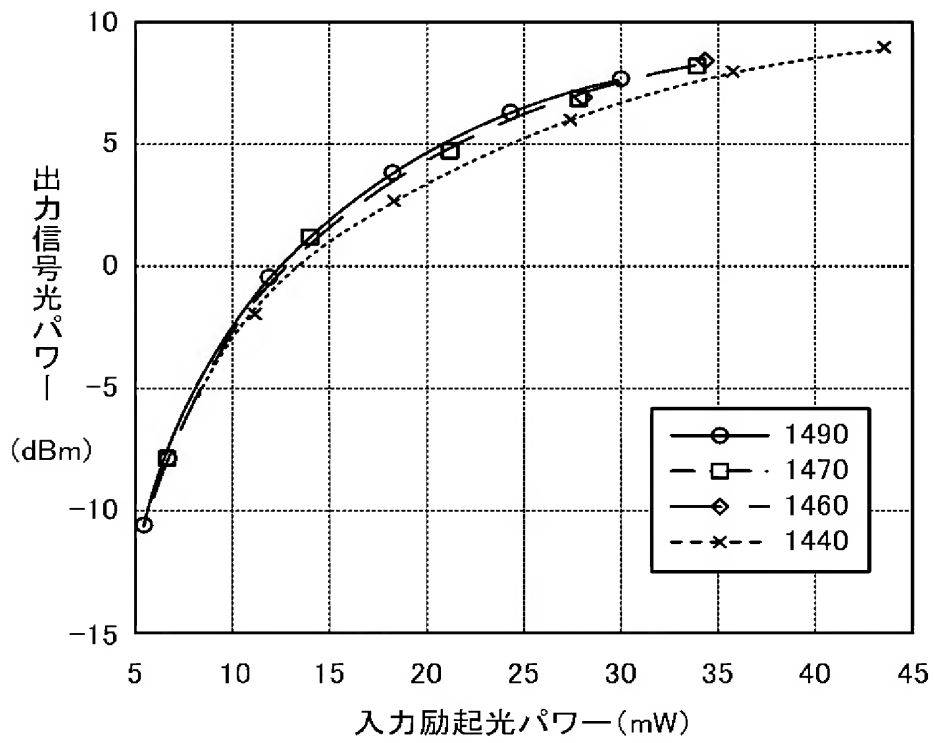


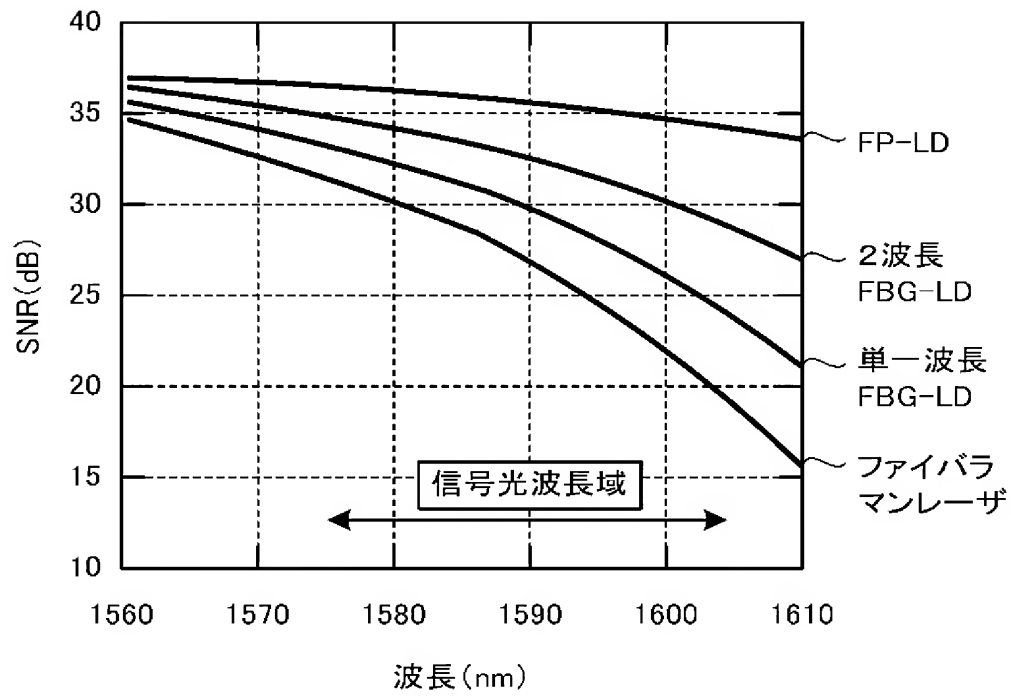
【図 8】



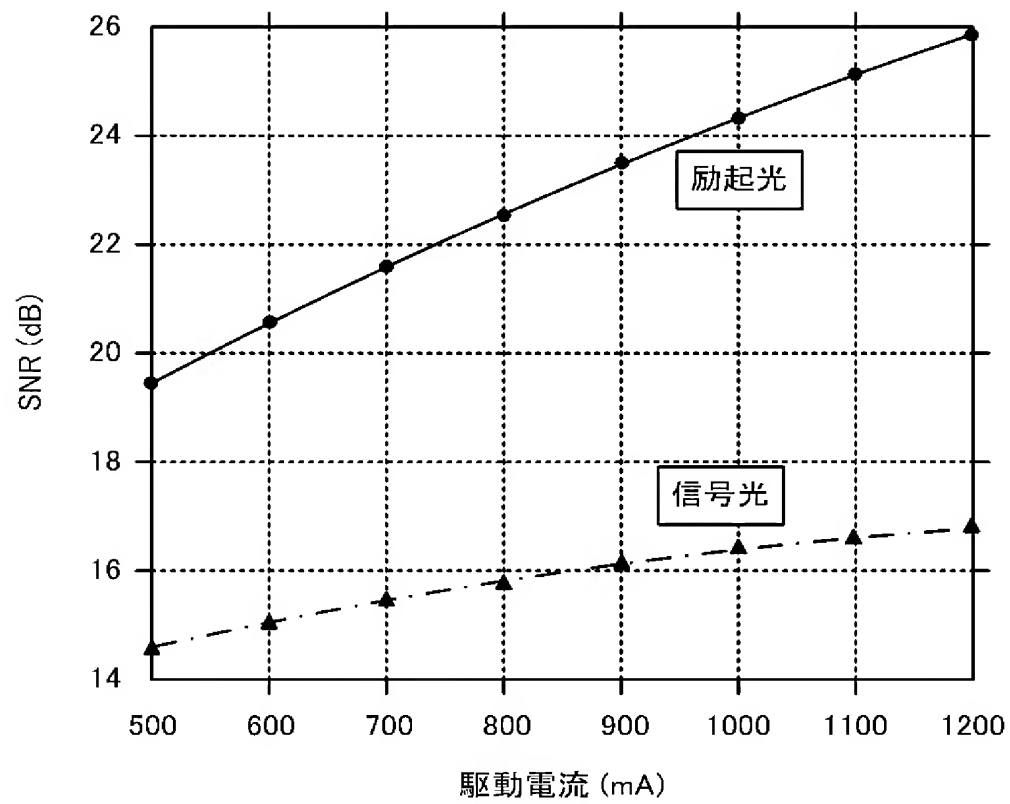
【図 9】





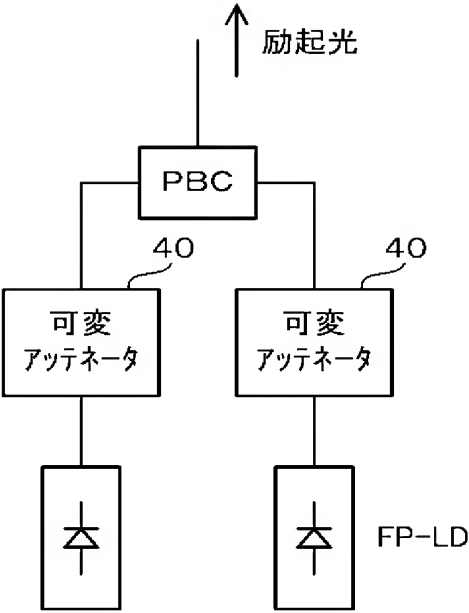


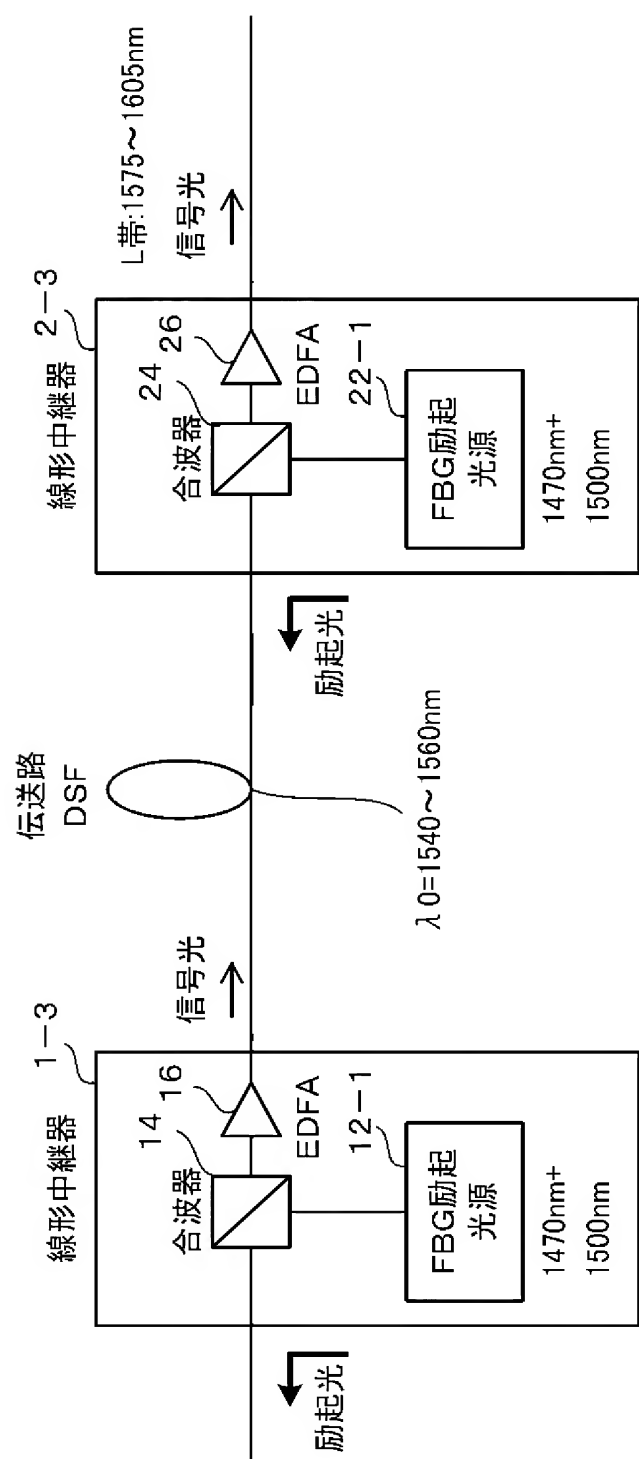
本発明第四実施例のSNRスペクトル

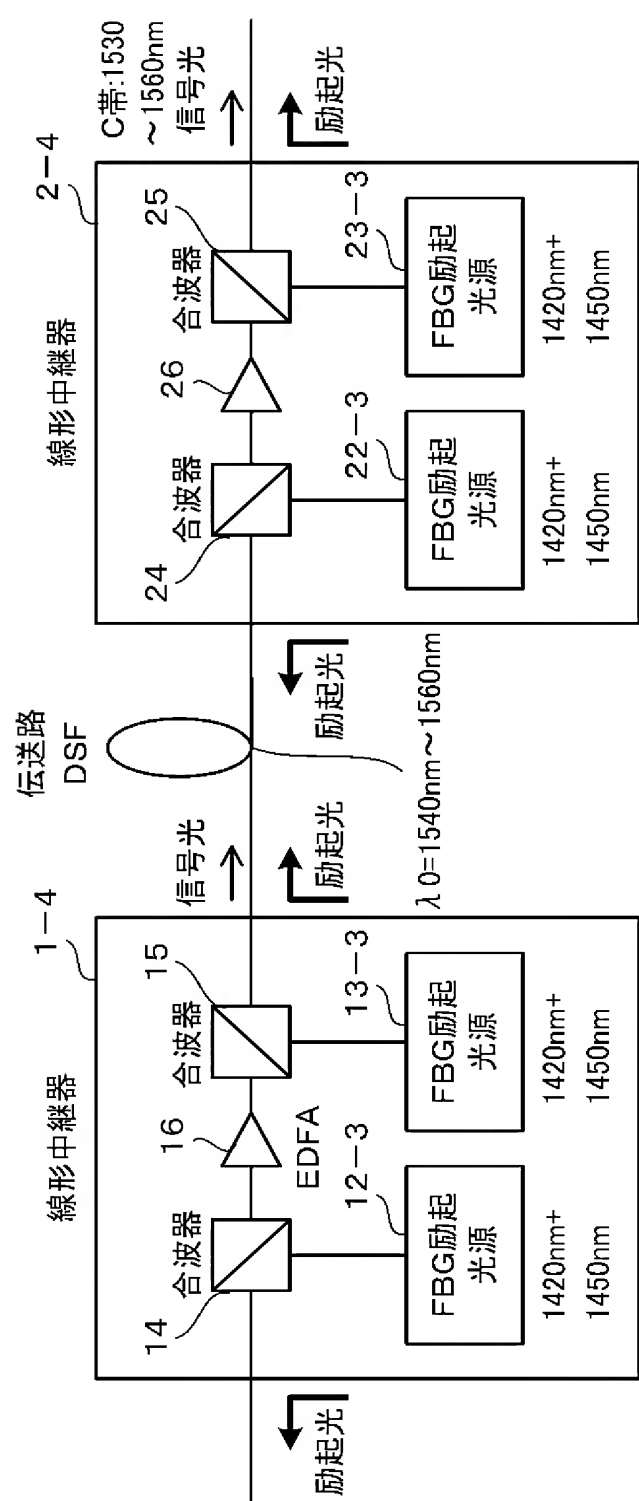


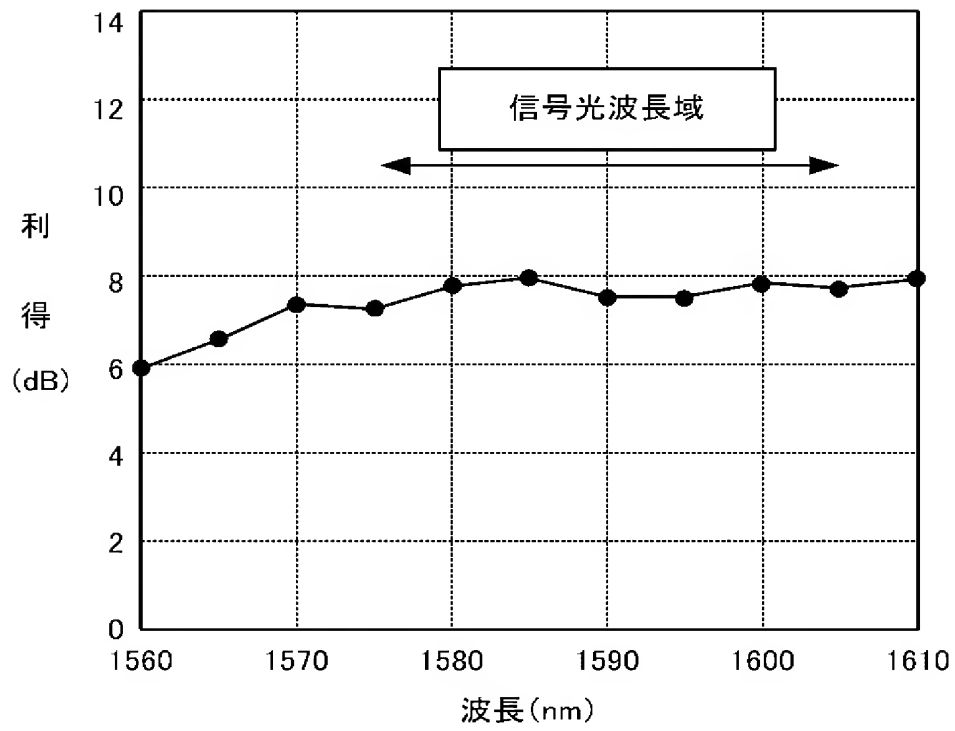
SNR特性

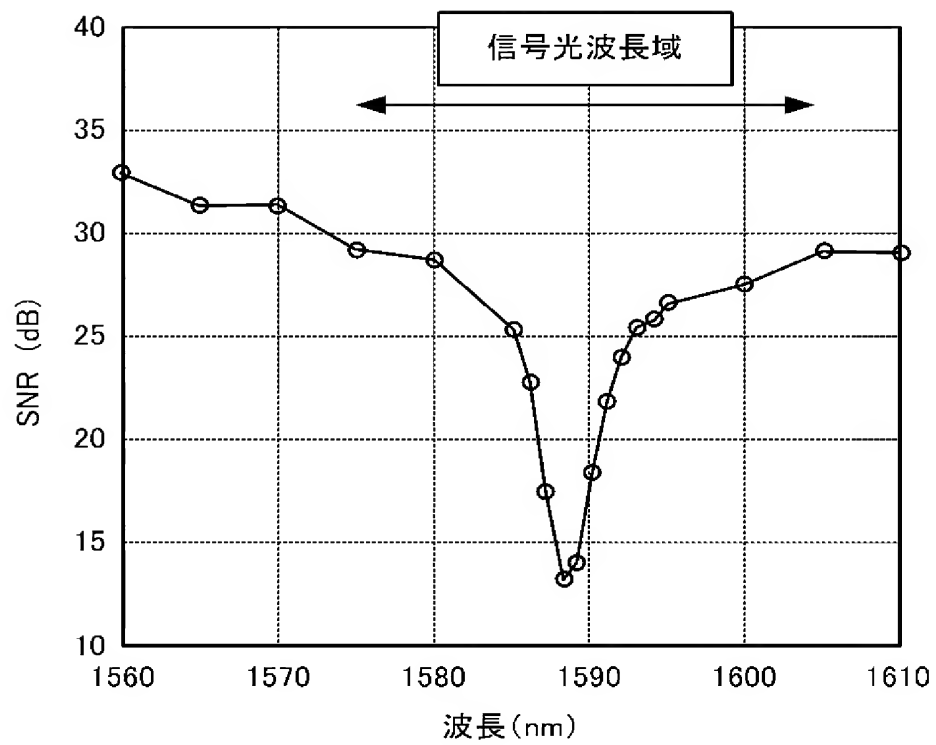
【図 1 3】











【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 最もよく用いられる、F B G 励起光源およびファイバレーザなどの励起光源を用いることのできる前方励起 D R A を用いた線形中継器および光ファイバ通信システムを実現する。

【解決手段】 信号光を増幅するラマン増幅の利得媒質としてのシリカファイバと、前記信号光と同位置方向に前記シリカファイバ中を共伝播する励起光を送出する励起光源と、前記シリカファイバと前記励起光源との間に設置された前記信号光と前記励起光との合波器とを有する線形中継器で、前記合波器には、前記シリカファイバのゼロ分散波長より長波長側の波長を有する信号光が入射され、この信号光と前記励起光源から出射された励起光とを合波する手段を備え、前記励起光源は、前記信号光の波長より 13.7 THz 以上短波長側にある励起光を出射する手段を備える。

【選択図】 図 1

出願人履歴

0 0 0 0 0 4 2 2 6

19990715

住所変更

5 9 1 0 2 9 2 8 6

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

日本電信電話株式会社